

VŠB – Technická Universita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Měření rozvodů tepla jako součást preventivní údržby

**Heat Piping Measurement as the Component Part of
Preventive Maintenance**

Student: Petr Havrila
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Havrila**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Specializace: 70 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: Měření rozvodů tepla jako součást preventivní údržby
Heat Piping Measurement as the Component Part of Preventive Maintenance

Zásady pro vypracování:

Na základě požadavků a podkladů firmy ESOS Ostrava, s.r.o. navrhnete možnosti aplikace prvků z oblasti termodiagnostiky jako prostředku preventivní údržby při kontrolách rozvodů tepla.

V rámci zadání zpracujte:

1. Obecnou analýzu a rešerši k problematice využití termodiagnostiky v provozu strojů a zařízení se zaměřením na rozvody tepla.
2. Popis sledovaného celku, vyhodnocení současného stavu a návrh možností propojení prostředků termodiagnostiky a preventivní údržby.
3. Návrh postupu a provedení vlastního měření vybraného celku pomocí vhodných prostředků termodiagnostiky.
4. Vyhodnocení provedených měření s vypracováním návrhu nápravných opatření v případě zjištění nedostatků v provozu sledovaného celku.

Seznam doporučené odborné literatury:

KREIDL, M., ŠMÍD, R. *Technická diagnostika*. 1. vydání, Praha : BEN - Technická literatura, 2006. 408 s. ISBN 80-7300-157-6.

LYSENKO, V. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. 1. vydání, Praha : BEN - technická literatura , 2005, 153 s. ISBN 80-7300-180-2.

HRADIL, F. *Potrubní systémy*. 1. vydání, Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1994. 159 s. ISBN 80-7078-253-6.

Firemní podklady společnosti ESOS Ostrava, s.r.o.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha : Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 32 s.

PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci [online]*. Ostrava : VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z www: <URL: <http://www.345.vsb.cz/jiripetruselka/Texty/Jak%20psat.pdf>>.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18.5.2011



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18.5.2011



.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Petr Havrila

Adresa trvalého pobytu autora práce: Lobodice 226, 751 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Havrila, P. *Měření rozvodů tepla jako součást preventivní údržby : bakalářská práce.* Ostrava : VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2011, 61 s. Vedoucí práce: Hrabec, L.

Tato bakalářská práce se zabývá způsoby měření teploty, jejich konstrukcí a principem jednotlivých měřidel a ukazuje jejich výhody a nevýhody. V této práci je kladen důraz na bezdotykové měření teploty pomocí termovize. Dále pokračuje popisem a způsoby měření touto termovizní technikou, která svým nasazením, rozsahem a především rychlostí našla řadu uplatnění v nejrůznějších průmyslových odvětvích. V praktické části je provedena termodiagnostika teplovodního vedení, kde pomocí této metody zjistíme skutečný stav tohoto zařízení. Na závěr je provedeno zpracování a popis jednotlivých měření včetně jejich vyhodnocení.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Havrila, P. *Heat Piping Measurement as the Component Part of Preventive Maintenance : Bachelor Thesis.* Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design , 2011, 61 p. Thesis head: Hrabec, L.

This Bachelor thesis deal with methods of temperature measurement, their construction and principles of individual meters and shows their advantages and disadvantages. This work stress non-contact temperature measuring with using thermography. It continued with description and measurement methods of this termovisual technic which found many uses in various industries because of its setting, comprehension and rate. There is made thermodiagnostic of warm-water lines in the practical part where the actual status of this facility is read with using this method. Elaboration and description of the particular measurement including their evaluation is done in the conclusion

KLÍČOVÁ SLOVA – teplota, termografie, termodiagnostika

KEYWORDS – temperature, thermography, thermodiagnostic

OBSAH:

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, POJMŮ A ZKRATEK	9
1 ÚVOD	10
2 HISTORIE	11
3 ZÁKLADY ŠÍŘENÍ TEPLA	12
3.1 Šíření tepla vedením	12
3.2 Šíření tepla prouděním	13
3.3 Šíření tepla sáláním	14
4 TEPLOTA A MĚŘENÍ TEPLoty	15
4.1 Teplota	15
4.2 Měření teploty	16
4.2.1 Kontaktní měření teploty	16
4.2.2 Bezkontaktní měření teploty	17
5 TERMOGRAFIE	20
5.1 Úvod	20
5.2 Princip	20
5.3 Teorie termografie	21
5.3.1 Záření reálných těles	21
5.3.2 Kompenzační parametry při měření	23
5.4 Měřicí technika	24
5.4.1 Optický systém	24
5.4.2 Detektory	25
5.4.3 Konstrukce termovizních systémů	25
5.5 Termografické metody	26
5.5.1 Pasivní termografie	26
5.5.2 Aktivní termografie	26
6 PŘÍKLADY VYUŽITÍ TERMODIAGNOSTIKY V PRAXI	27
6.1 Stavebnictví	27
6.2 Průmysl	28
6.3 Energetika	28
6.4 Teplovodní systémy	29
6.4.1 Teplovodní potrubí	29
6.5 Další využití	32
7 TERMOVIZNÍ MĚŘENÍ TEPELOVODNÍHO POTRUBÍ	33
7.1 Popis sledovaného celku	33
7.2 Měřicí zařízení	34

7.3	Průběh měření a zadávací parametry	35
7.4	Zpracování a vyhodnocení měření	35
7.5	Doporučení	42
8	ZÁVĚR	43
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		45
SEZNAM PŘÍLOH.....		45
Příloha A: Termovizní měření teplovodního vedení - vypracované firmou Esos		46

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, POJMŮ A ZKRATEK

DN	jmenovitá světlost	(m)
ELMAG	elektromagnetický	
IČ	infračervený	
PN	jmenovitý tlak	(Pa)
Q	tepelný tok	(W)
Q_v	průtočné množství	$(m^3 \cdot s^{-1})$
R_e	reynoldsovo číslo	(1)
d	průměr potrubí	(m)
i	tlaková ztráta	(m)
r_1	vnitřní průměr	(m)
r_2	vnější průměr	(m)
t	teplota stěny	(K)
v	střední rychlost tekutiny	$(m \cdot s^{-1})$
ε	emisivita	(1)
λ	součinitel tepelné vodivosti	$(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$
ν	kinematická viskozita	$(m^2 \cdot s^{-1})$

1 ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá způsoby měření teploty, jejich principem a konstrukcí jednotlivých měřidel a ukazuje na jejich přednosti a nedostatky. Dále řeší problematiku termodiagnostiky, která je oborem s poměrně širokým rozsahem a nasazením. Je jednou z metod technické diagnostiky, která se v současnosti stala samostatným vědeckým oborem, zjišťující technický stav sledovaného objektu. Spočívá v měření teploty povrchu těles, kde tato informace o teplotě je jednou z nejdůležitějších vlastností určující stav hmoty. Každá hmota v jakémkoliv skupenství si neustále vyměňuje se svým okolím tepelnou energii a právě v měření této energie spočívá podstata bezdotykového měření teploty. Toto měření je v dnešní době velice jednoduché a rychlé, proto se stalo nejpoužívanějším způsobem.

Jednou z metod bezkontaktního měření je termovize. Jde o nedestruktivní metodu založenou na zobrazení a vyhodnocení teplotního pole měřeného objektu. Jednoduše identifikuje teplejší místa povrchu od chladnějších a může přímo určit skutečnou teplotu v těchto místech. Umožňuje popsat informaci rozložení teploty na povrchu měřeného tělesa v infračerveném spektru na obraz, který je viditelný lidským okem (termogram).

Nasazením termodiagnostiky nebo jiné diagnostické metody, která taktéž vede ke zjištění skutečného stavu zařízení a možným propojením s preventivní údržbou, tedy udržením provozuschopného a bezpečného stavu objektu pravidelným sledováním, můžeme včas odhalit vznikající poruchy, vhodně plánovat opravy, zvýšit produktivitu, snížit ekonomické ztráty způsobené poruchou, zvýšit spolehlivost provozu zařízení. Tato metoda našla uplatnění v řadě průmyslových odvětví, kde zlepšila kvalitu strojů, jejich částí a výrobků.

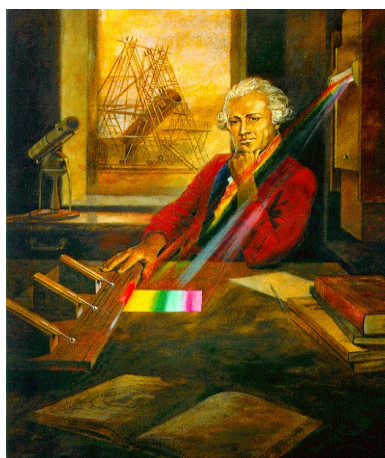
V praktické části bude provedeno termovizní měření teplovodního vedení. Úkolem je zjištění stávajícího stavu potrubí a zaznamenání případných závad. Na základě vyhodnocení termovizních snímků bude zpracována zpráva s výsledky a doporučením.

2 HISTORIE

Historie měření teploty vzniká vynálezem italského fyzika, matematika, astronoma a filozofa Galilea Galilei roku 1592. Jeho méně přesný teploměr na atmosférickém tlaku závislý, byl založený na teplotní roztažnosti vzduchu. V roce 1724 přišel německý fyzik Daniel G. Fahrenheit s moderním rtuťovým teploměrem a první teplotní stupnicí. Od té chvíle se vývoj teploměrů nezastavil. V roce 1742 švédský astronom Andres Celsius přichází s Celsiovou stupnicí a roku 1848 zavedl termodynamickou stupnici britský fyzik lord William Thomsom Kelvin.

Prvním objevitelem infračerveného (tepelného) záření byl v roce 1800 Sir Herschel. Tento vědec byl astronomem a objevil planetu Uran. Při experimentování s hranolem rozložil světlo na jednotlivé barvy – části elektromagnetického spektra, které měřil pomocí teploměru. Zjišťoval postupný nárůst teploty spektra od fialové po červenou a došel k tomu, že bod maxima teploty je docela daleko za viditelnou červenou barvou. V místě, které se nazývá „IČ“ pásmo.

K dalšímu vývoji v tomto oboru dochází, když anglický badatel Langley vynalezl bolometr v roce 1880. Toto zařízení bylo schopné detekovat teplo krávy na vzdálenost až 400 metrů. V roce 1940 bylo možné získat tepelný obraz na základě rozdílného odpařování malé vrstvy oleje vystavené tepelnému záření (interferenci olejových vrstev). Již dříve Sir John Herschel vytvořil na papír jednoduchý záznam tepelného obrazu, který pak nazval „termograf“. V roce 1965 byl firmou AGA vyroben první termografický systém určený k volnému prodeji. K rozvoji IČ techniky došlo během obou světových válek, také samozřejmě po nich a lze říci, že výzkum a vývoj v této oblasti není dosud ukončen a jistě bude dále pokračovat. [1], [2]



Obr. 1. Sir William Herschel [2]

3 ZÁKLADY ŠÍŘENÍ TEPLA

K šíření tepelné energie dochází společným působením tří základních druhů přenosu:

- vedením (kondukcí)
- prouděním (konvekci)
- sáláním nebo také zářením (radiací)

Teplo je přenášeno jedním z těchto tří typů přenosů, obvykle kombinací dvou nebo všech tří typů přenosů. Při konkrétních řešeních můžeme uvažovat s každým druhem šíření odděleně a celkovou hodnotu přenesené energie dostaneme jako součet přenášených energií jednotlivými způsoby. Termografie je pochopitelně nejbližší radiačnímu přenosu tepla, ale důležité je znát všechny typy. [7]

3.1 Šíření tepla vedením

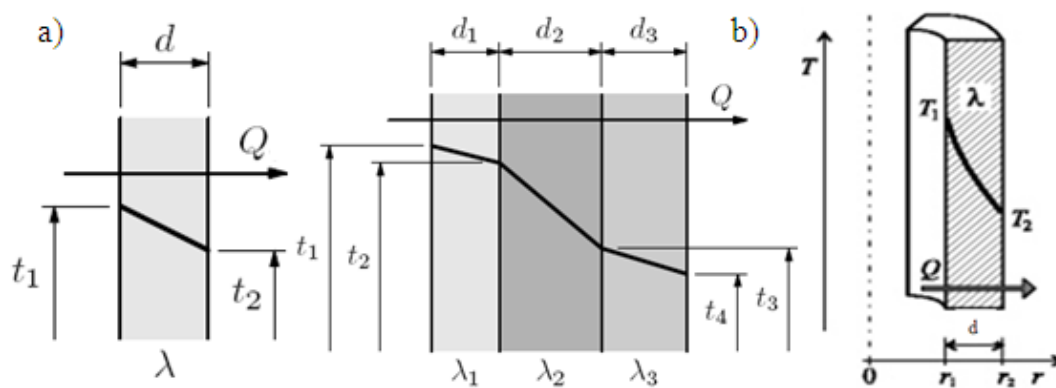
Přenos tepla vedením se uplatňuje hlavně u pevných těles. Je to způsob kdy teplo samovolně přechází od míst s vyšší teplotou do míst o nižší teplotě. Dochází k němu v hmotném prostředí (pevná, kapalná i plynná fáze). Energii si předávají sousední částice pomocí vzájemných srážek, při vedení tepla nedochází k pohybu prostředí. V homogenním prostředí platí Fourierův zákon, podle něhož hustota tepelného toku Q je úměrná teplotnímu gradientu:

$$q = -\lambda \text{grad} T \quad (1)$$

kde $\text{grad } T$ je gradient termodynamické teploty T v témže místě látky a λ je součinitel tepelné vodivosti ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$).

Nejčastěji řešenými případy jsou: - prostup tepla jednoduchou a složenou rovinnou stěnou
- prostup tepla válcovou stěnou

Q	tepelný tok	(W)
λ	součinitel tepelné vodivosti	($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
d	šířka stěny	(m)
t	teploty stěny	(K)
r_1	vnitřní poloměr	(m)
r_2	vnější poloměr	(m)



Obr. 2. a) Prostup tepla jednoduchou a složenou rovinou stěnou,
b) Prostup tepla válcovou stěnou [2]

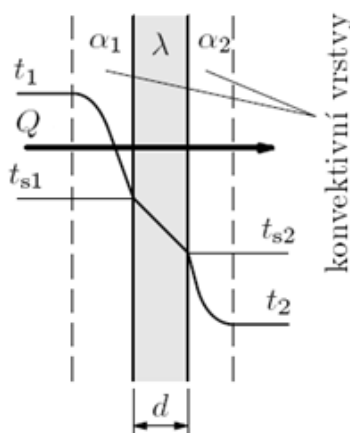
3.2 Šíření tepla prouděním

Šíření tepla prouděním není možné u pevných látek a dochází k němu pouze v kapalném a plynném prostředí. Při proudění dochází k pohybu částic prostředí. Pohyb může být způsoben rozdílem tlaků vytvořených uměle např. čerpadlem (nucené proudění), tak i pouze rozdíly v hustotě látky, vyvolanými její různou teplotou (volné proudění). Teoretický popis proudění tepla je složitý (v technické praxi se často určuje experimentálně).

Na rozhraní pevného a kapalného (nebo plynného) prostředí dochází k prostupu tepla. Rovnice, která vyjadřuje tepelný tok při sdílení tepla prouděním, je daná vztahem:

$$Q = \alpha S \Delta T \dots \text{Newtonův zákon} \quad (2)$$

Mezi prvním prostředím (α_1) a stěnou dochází ke sdílení tepla prouděním, ve stěně dochází k přenosu tepla vedením (λ) a ze stěny do druhého prostředí opět prouděním (α_2).



Obr. 3. Sdílení tepla prouděním [2]

3.3 Šíření tepla sáláním

Všechny tělesa, jejichž teplota je větší než nula Kelvinů (absolutní nula), vyzařují tepelnou energii ve formě elektromagnetického vlnění do prostoru. Každá tělesa vyzařují, ale také absorbují energii vyzařovanou od jiných těles, takže těleso se zahřívá, když přijímá více, než vyzařuje, nebo se ochlazuje, když převládá jeho vlastní vyzařování. Tato metoda šíření tepla se odlišuje od předchozích dvou, především tím, že tepelná energie se může přenášet i v prostoru, který není vyplněn žádnou látkou (vakuum). Odrazivost a pohltivost záření u těles závisí nejvíce na barvě a jakosti povrchu. Při dopadu tepelného záření na těleso se část energie pohltí, část odrazí a část projde tělesem.

Platí:

$$A + R + T = 1 \quad (3)$$

$$A = \frac{\text{energie pohlcená}}{\text{energie dopadající}} \quad (4)$$

$$R = \frac{\text{energie odražená}}{\text{energie dopadající}} \quad (5)$$

$$T = \frac{\text{energie prošlá}}{\text{energie dopadající}} \quad (6)$$

kde A - pohltivost
 R - odrazivost
 T - propustnost

Absolutně černý povrch všechnu energii pohltí

$$A = 1, R = T = 0$$

Absolutně bílý povrch všechnu energii odrazí

$$R = 1, A = T = 0$$

Absolutně průzračné těleso všechnu energii propustí

$$T = 1, A = R = 0$$

4 TEPLOTA A MĚŘENÍ TEPLoty

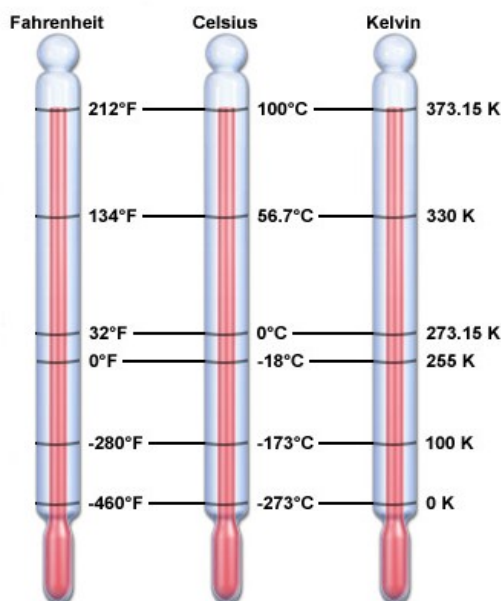
4.1 Teplota

Teplota je základní fyzikální veličina soustavy SI s jednotkou kelvin (K). Obecně je to vlastnost předmětů a okolí, kterou člověk vnímá a přiřazuje jí pocity studeného, teplého či horkého. Zvýšením teploty se kaučukové vlákno zkracuje, kovová tyč roztahuje, plyny mění svůj objem atd. Teplota je jedna z nejvýznamnějších stavových veličin ovlivňující skoro všechny stavy a procesy v přírodě.

Teplota je stavová veličina, která udává stav termodynamické rovnováhy. Tento jev nastává tehdy, když tělesa jsou při vzájemném styku a mají stejnou teplotu. Na základě účinnosti vratného Carnotova cyklu je definována termodynamická teplotní stupnice. Svůj počátek má v absolutní nule (nejnižší možná teplota, ke které se lze přiblížit, avšak nelze jí dosáhnout) a její jednotkou je kelvin (K). Kelvin byl určen jako referenční a základní bod termodynamické teploty trojného bodu vody (rovnovážný stav soustavy led – voda – nasycená pára) s pevně danou hodnotou 273,16 K. [2]

Teplotu zjišťujeme i jinými teplotními stupnicemi:

- Celsiova
- Fahrenheitova



Obr. 4. Teplotní stupnice [2]

4.2 Měření teploty

Teplota jakéhokoliv objektu se dá zjistit množstvím metod a prostředků. Teplotu měříme nepřímou, prostřednictvím různých fyzikálních veličin. Správné umístění snímačů teploty v měřeném prostředí je základním předpokladem správného měření teploty. Měřicí místo se musí zvolit tak, aby byla zajištěna snadná montáž a demontáž snímače. Pro dosažení co největší přesnosti měření je nutno zajistit co největší přestup tepla z měřeného prostředí do snímače teploty. Samozřejmostí pro správné a přesné měření je bezvadný stav celého měřicího zařízení.

4.2.1 Kontaktní měření teploty

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [1]

Dotykové (kontaktní) teploměry při měření jsou v přímém dotyku s měřeným prostředím (objektem) a rozdělujeme je podle fyzikálního principu funkce na:

- **dilatační** (využívají teplotní roztažnosti tuhých látek, kapalin a plynů)
- **parní** (využívají teplotní závislosti tlaku syté páry teploměrové kapaliny)
- **odporové** (využívají teplotní závislosti elektrického odporu vodičů a polovodičů)
- **polovodičové** (využívají změn vlastností polovodičů s teplotou)
- **termoelektrické** (využívají teplotní závislosti termoelektrického napětí termoelektrického článku)
- **optovláknové** (využívají změn vlastností optických vláken s teplotou)
- **speciální** (využívají změn vybraných fyzikálních vlastností tuhých látek a kapalin s teplotou např. měknutí, tavení, index lomu)



Obr. 5. Kontaktní teploměry [8]

4.2.2 Bezkontaktní měření teploty

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [1], [2]

Bezkontaktní (bezdotykové) měření spočívá ve vyhodnocování elektromagnetického záření těles. Všechno tělesa s vyšší teplotou než je absolutní nula vysílají elektromagnetické záření. Bezkontaktní měření se provádí v části elektromagnetického spektra v rozmezí vlnových délek 0,38 μm až 1 mm. Tuto oblast rozdělujeme na oblast viditelného spektra (0,38 až 0,78 μm) a oblast infračerveného spektra (0,78 μm až 1 mm), také nazývanou tepelným zářením.



Obr. 6. Spektrum elektromagnetického záření [2]

Rozdělení:

- **Pyrometry** - využívají se pro měření spíše vysokých teplot v malém prostoru, kde není možné použít dotykový teploměr, rozdělují se podle využitelného záření na:
 - **spektrální** (jasové) – využívají tepelného záření při jedné vlnové délce
 - **pásmové** – využívají tepelného záření v úzkém pásmu vlnových délek
 - **spektrální** (barvové) – využívají tepelného záření při dvou vlnových délkách
 - **celkové** (radiační) – využívají tepelného záření ve velkém rozsahu vlnových délek, teoreticky v celém rozsahu
- **Fotometrie** - využívá klasického fotoaparátu s velkou světelností a fotomateriálem sensibilizovaným na infračervené záření.
- **Termografie** (termovize) - se podobá videokameře, která ale, na rozdíl od ní, využívá pro bezpečné měření povrchových teplot objektů neviditelného infračerveného záření. (viz. kapitola 5)



Obr. 7. Zařízení pro bezkontaktní měření [2]

Výhody bezdotykového měření teploty:

- měření na těžko přístupných místech
- měření na nebezpečných místech
- měření pohybujících se objektů
- rychlé snímání teploty v reálném čase
- zanedbatelný vliv měřicí techniky na objekt
- možnost měření velmi vysokých teplot
- nedochází k mechanickému opotřebení snímače ani snímaného objektu

Nevýhody bezdotykového měření teploty:

- neznalost správné hodnoty emisivity povrchu
- prostředí ovlivňující přesnost (prach, páry a jiné)
- ovlivnění okolní teplotou
- nedodržení optického rozlišení určeného výrobcem

Tab. 1. Měřicí rozsahy vybraných typů teploměrů

t (°C)	binomické	tyčové	termoelektrické	krystalové	iontové	odporové	keramické	termočlánek	pyrometry	termovize
2000										
1900										
1800										
1700										
1600										
1500										
1400										
1300										
1200										
1100										
1000										
900										
800										
700										
600										
500										
400										
300										
200										
100										
0										
-100										
-200										
-300										

5 TERMOGRAFIE

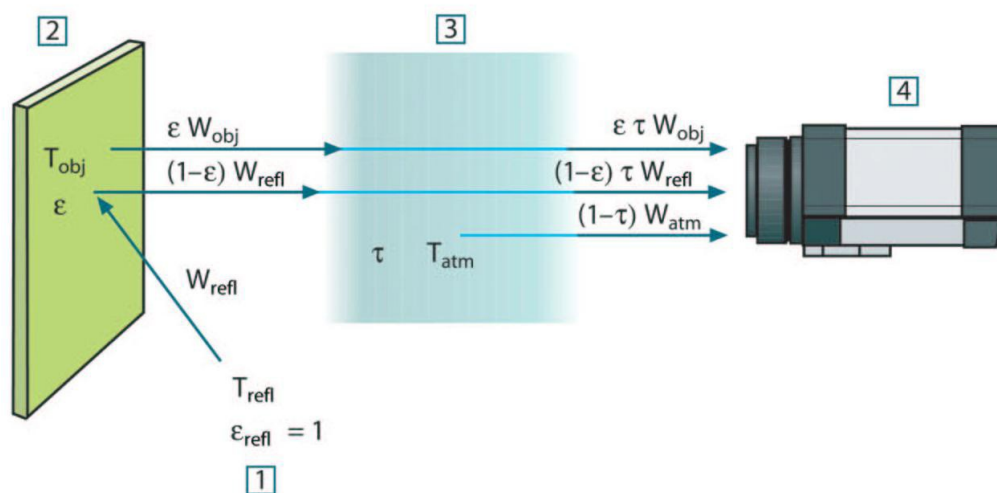
Toto téma je natolik obsáhlé, že bylo zpracováno jen stručně dle literatury [1], [2], [4]

5.1 Úvod

Jedná se o nedestruktivní metodu založenou na zobrazení a vyhodnocení teplotního pole povrchu měřeného objektu. K tomuto měření se využívá termovize (termografická kamera), která umožňuje popsat zobrazovací systém transformující informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného tělesa v infračerveném spektru na obraz, který je vidět lidským okem. V těchto polích se teplota pohybuje u současných systémů v teplotním rozsahu od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do $+2000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zobrazení těchto teplotních polí (termogramů) může být barevné nebo černobílé.

5.2 Princip

Termografie se zabývá vyhodnocováním a zkoumáním teplotního pole na povrchu měřených těles. Tato pole tvoří emitující fotony, které jsou zářivou energií IČ částí EL MAG spektra. Výsledkem těchto zobrazovacích systémů je termogram (zachycené fotony, které jsou zpracovány na obraz).



Obr. 8. Měřicí řetězec [1]

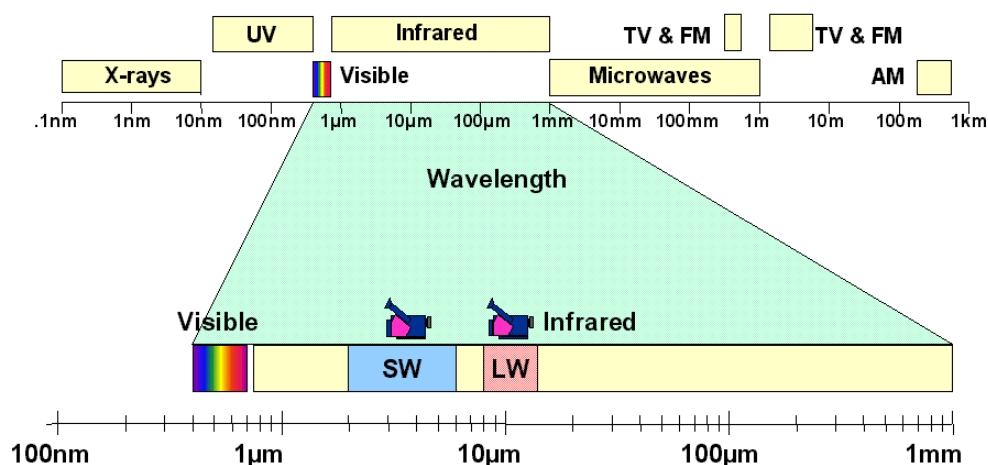
- 1 - okolí měřeného tělesa
- 2 - měřené těleso
- 3 - atmosféra mezi měřeným tělesem a měřícím systémem
- 4 - měřící systém

Zářivá energie v IČ části spektra je generována třemi typy zdrojů:

- luminiscenčními zdroji
- radiovými zdroji
- tepelnými zdroji

Termovizní systém pracuje v různých částech infračerveného spektra, ovšem nejčastěji v oblastech: Krátkovlnná oblast $2\text{ }\mu\text{m} - 3\text{ }\mu\text{m}$ SWIR (Short Wave IR)

Vzdálená oblast $5\text{ }\mu\text{m} - 15\text{ }\mu\text{m}$ LWIR (Long Wave IR)



Obr. 9. Elektromagnetické spektrum [1]

5.3 Teorie termografie

5.3.1 Záření reálných těles

Zářivá energie, kterou určitou plochou vysílá povrch tělesa za jednotku času, nazýváme zářivým tokem. Vyzařování z tělesa je doprovázeno snížením jeho tepelné energie (tepla), která se projeví snížením jeho teploty. Aby zůstala teplota tělesa konstantní a těleso bylo s jeho okolím v termodynamické rovnováze, musí být nahrazena ztracená energie vyzařovaného tepelného záření z vnějšku.

obecné radiační zdroje (objekty) mají koeficient emisivity (ε) bezrozměrný, který je vyšší než 0 a nižší než 1 ($0 < \varepsilon < 1$), to znamená, že mají horší vyzařovací vlastnosti v porovnání s (absolutně) černým tělesem. Průběh spektrální závislosti emisivity určuje tři základní typy tepelných radiačních zdrojů:

- **(absolutně) černá tělesa:** pro která platí, že na všech vlnových délkách $\varepsilon = 1$
Je to takové těleso, které pohltí veškeré dopadající záření a je dokonale vyzařujícím tělesem.

Pro (absolutně) černé těleso byly odvozeny tyto zákony:

Stefan-Boltzmannův zákon

- udává intenzitu vyzařování černého tělesa při termodynamické teplotě T

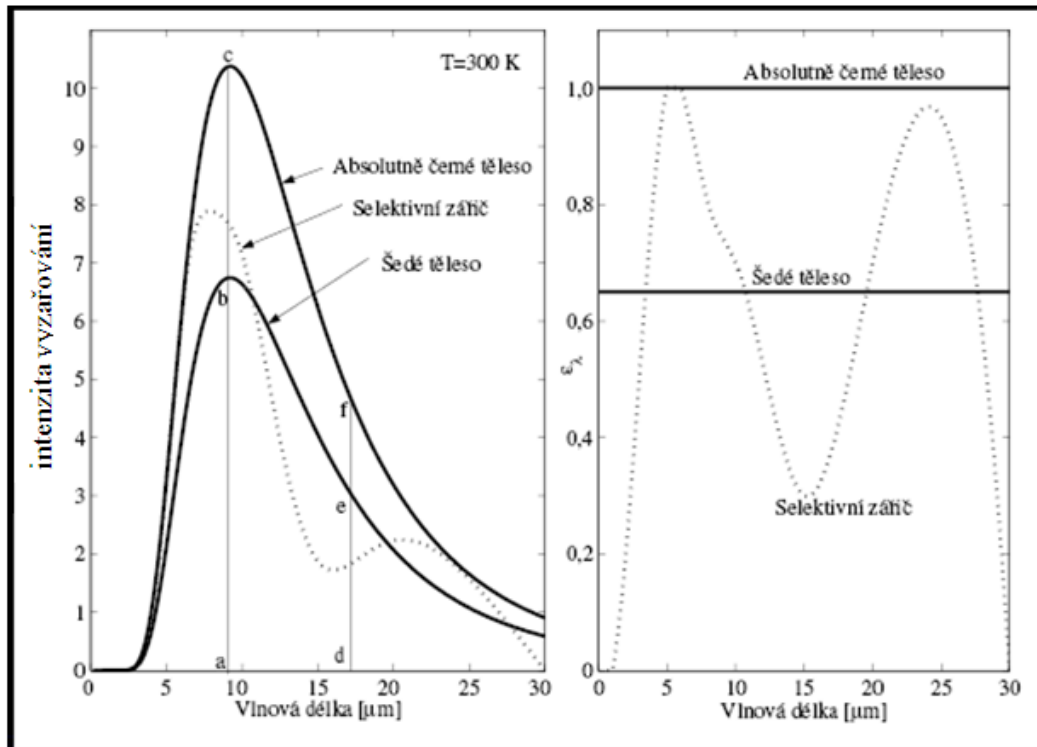
Wienův zákon

- udává závislost vlnové délky maxima vyzařování na termodynamické teplotě T

Planckův zákon

- udává spektrální rozložení teplotního záření

- **šedá tělesa:** pro ně platí, že $\varepsilon < 1$, ale je na všech vlnových délkách konstantní
- **selektivní zdroje (reálná tělesa):** pro které platí, že ε se mění v závislosti na λ .
Mají různou vlnovou délku a různou emisivitu. Většina materiálů vykazuje právě tuto vlastnost.



Obr. 10. Intenzity vyzařování různých těles a spektrální emisivity [1]

5.3.2 Kompenzační parametry při měření

- **Emisivita**

Je poměr mezi vyzařováním tepelného zářiče k vyzařování černého tělesa při stejné teplotě, kdy žádný skutečný objekt nemůže emitovat více záření než černé těleso. Emisivita je důležitým parametrem, který je nutno určit správně. Hodnoty emisivit lze najít v tabulkách pro celou řadu materiálů. V případě, že jsme nenalezli správnou hodnotu emisivity, je více způsobů, jak tuto hodnotu zjistit:

- změříme kontaktně
- porovnávací určení

Koeficient emisivity reálných těles je obecně závislý na:

- typu materiálu zdroje (kov, izolant, oxid atd.)
- vlastnostech jeho povrchu (hladký, opracovaný atd.)
- vlnové délce (spektrální závislost)
- teplotě zdroje
- směru vyzařování

Tab. 2. Emisivita pro vybrané povrchy

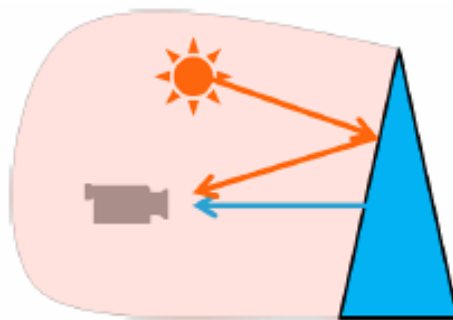
Černé těleso	1,00
Černý matový lak	0,99
Voda	0,95
Cihly	0,85
Zoxidovaný ocelový plech	0,75
Zoxidovaný hliník	0,55
Lesklý ocelový plech	0,25

- **Teplota okolí**

Tohoto parametru využíváme ke kompenzaci radiace odražené od objektu a radiace atmosféry mezi objektem a kamerou. Odrážející se záření od zdrojů (objektů) je vlastně odrážející se zdánlivá teplota v okolí měřeného tělesa. Je důležité vědět, že hlavně u těles nebo objektů, které nejsou transparentní pro IČ záření a mají nízkou emisivitu povrchu, může odrážející se záření ovlivnit výsledný údaj teploty.

Odraženou zdánlivou teplotu můžeme určit dvěma metodami:

- metoda (nepřímá) odrazu
- metoda přímá



Obr. 11. Odrážející se záření od povrchu [2]

- **Atmosféra**

Při měření venku se doporučuje používat tzv. LW systémy, protože pracují v pásmu, ve kterém je potlačeno záření slunce, které se projevuje jako odraz od měřeného objektu. Není vhodné provádět měření za deště, mlhy a sněžení.

5.4 Měřící technika

Dnešní termokamery mohou pomocí zabudovaného zobrazovacího systému vytvářet detailnější teplotní obraz, který popisuje teplotní pole měřeného objektu. Jednotlivé izotermální plochy je možno barevně odlišit a libovolně je měnit v paletě barev. Při měření jsou kamerou automaticky zaznamenávány všechny údaje o měření, které jsou nutné pro vyhodnocení termogramů. Velmi důležité je v kameře nastavit výše zmíněné parametry objektu jako jsou teplota okolí, relativní vlhkost vzduchu, emisivita atd.

5.4.1 Optický systém

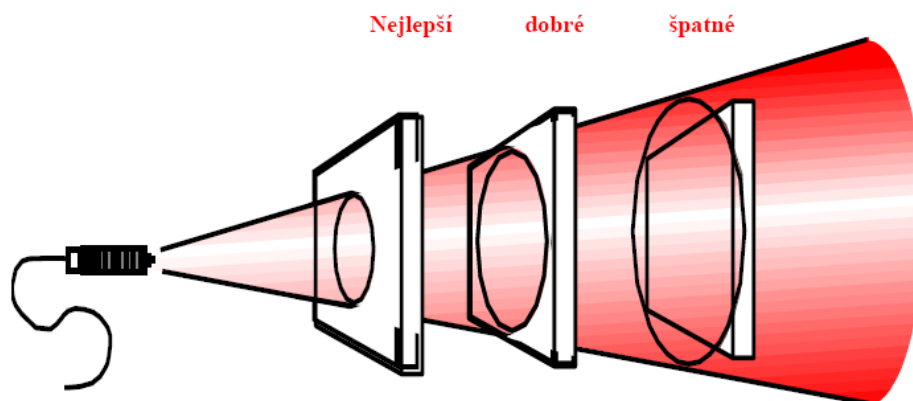
Optický systém se používá k zaostření zářivého toku zdroje záření na detektor systému. Optický blok má být konstruován tak, aby zabezpečoval přímou úměrnost zářivého toku zdroje a záření dopadajícího na detektor. U optických systémů IČ techniky jsou důležitými ukazateli:

- zorný úhel (zorné pole)
- rozlišovací schopnost (geometrické rozdělení)

Charakteristickými základními parametry optické soustavy jsou:

- koeficient propustnosti v pracovní oblasti
- zorné pole

- ohnisková vzdálenost
- rozlišovací schopnost



Obr. 12. Závislost velikosti zorného pole na vzdálenosti od měřeného objektu [1]

5.4.2 Detektory

Základním prvkem systémů záření je detektor (senzor). Ten převádí dopadající zářivou energii na elektrický signál. Tyto detektory záření používané v termografii dělíme do dvou skupin:

detektory kvantové - záření je převáděno přímo na elektrický signál

detektory tepelné - zářením je ohříván každý detektor a vyhodnocuje se změna teploty

5.4.3 Konstrukce termovizních systémů

Termografické systémy rozdělujeme dle různých kritérií a hledisek:

- podle částí IČ spektra, v nichž pracují: NWIR, SWIR, MWIR, LWIR, VLWIR

- podle způsobu nasazení: přenosné
pevné

- podle způsobu vytváření obrazu: s opticko-mechanickým rozkladem obrazu
s FPA detektory
smíšené vytvoření

5.5 Termografické metody

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [3]

5.5.1 Pasivní termografie

Je zobrazení teplotních polí na povrchu měřeného objektu. Základem této metody je pasivní snímání zářivé energie z objektů a jejich další vyhodnocování. Je to nejvíce rozšířená metoda v rámci preventivní údržby, která se v IČ termografii používá.

5.5.2 Aktivní termografie

Se zakládá na řízení stimulace tepelné vlny v tělese, snímání rozložené teploty na povrchu tělesa a analýzou signálu. Poruchy pod povrchem vrstvy se projevují diferencemi v rozložení teploty. Zdroj aktivuje tepelné záření tělesa a bývá často umístěn vně tělesa. Existují tyto zdroje: xenonová výbojka, pulzní laser, halogenová lampa. Aktivní metody termografie dělíme podle způsobu stimulace a vyhodnocení termogramu:

- pulzní termografii

Je založena na rychlém venkovním nebo vnitřním ohřevu tělesa a na následném vyhodnocení jeho tepelného pole. Tato metoda se dělí podle uspořádání zdroje ohřevu na reflexní a průchodovou.

- lock in termografii

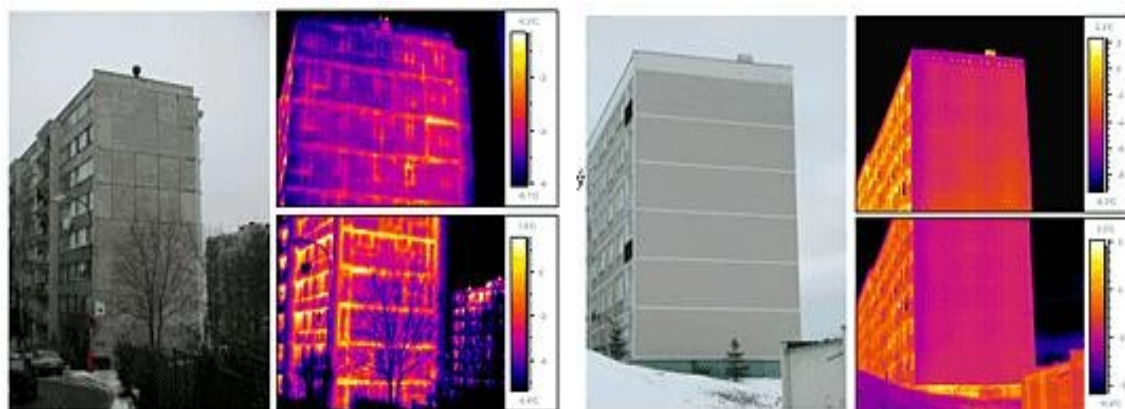
Funguje na principu modulace řízeného tepelného toku, který dopadá na měřené těleso. Snímané obrazce jsou modifikovány tepelnou vlnou, která se vrací z vnitřku objektu. Analýzou signálu můžeme určit odděleně amplitudu a fázový posuv odezvy. Hodnotu fáze a amplitudy můžeme zjistit více způsoby, např. FFT analýzou, synchronní detekcí.

6 PŘÍKLADY VYUŽITÍ TERMODIAGNOSTIKY V PRAXI

Termodiagnostická metoda spočívá v měření teploty povrchu těles a využívá této teploty jako diagnostického parametru, který charakterizuje určitý stav objektu. Termodiagnostiku používáme tam, kde se vyskytují poruchy strojů nebo zařízení, způsobující zvýšení pasivních ztrát, vytváření nového tepelného zdroje nebo snižování účinnosti. Teplotu je možno měřit dotykově v jednotlivých místech objektu, nebo v situacích kde nelze použít dotykové přístroje, provedeme měření pomocí bezdotykových přístrojů (pyrometry, termovize). Vyhodnocení spočívá ve srovnání naměřených hodnot s běžnými provozními hodnotami. Tato metoda přímo lokalizuje místo zvýšené teploty. Od doby, kdy se začala termodiagnostika používat vzrostla kvalita strojů, strojních částí, elektrických obvodů a dalších objektů. V současné době se tato metoda uplatňuje v nejrůznějších průmyslových odvětvích.

6.1 Stavebnictví

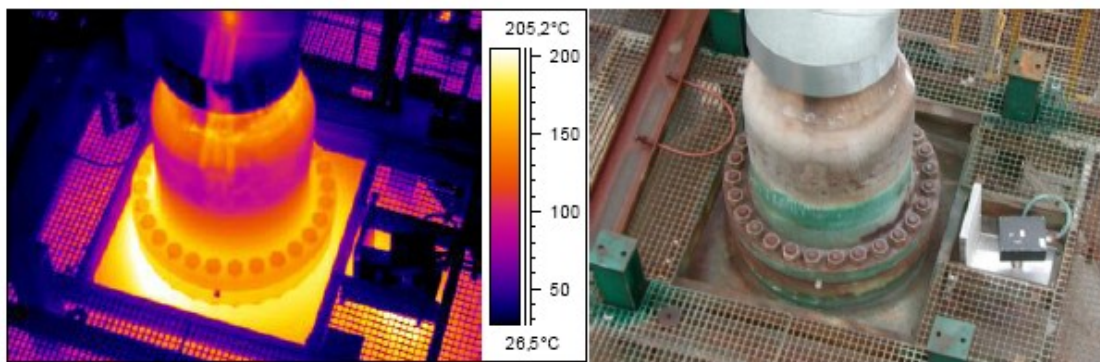
Úkolem termodiagnostiky ve stavebnictví je rychlý průzkum povrchových teplot pláště budovy. Tímto způsobem lokalizujeme místo úniku tepla, skryté vady, špatnou izolaci, netěsnosti oken, dveří a jejich příčinu vzniku. Měření se provádí zpravidla od listopadu do března a je závislé na klimatických podmínkách. Teplotní rozdíl mezi vnitřní a venkovní teplotou by měl být minimálně 15 °C.



Obr. 13 Boční část panelového domu před a po zateplení stěny [1]

6.2 Průmysl

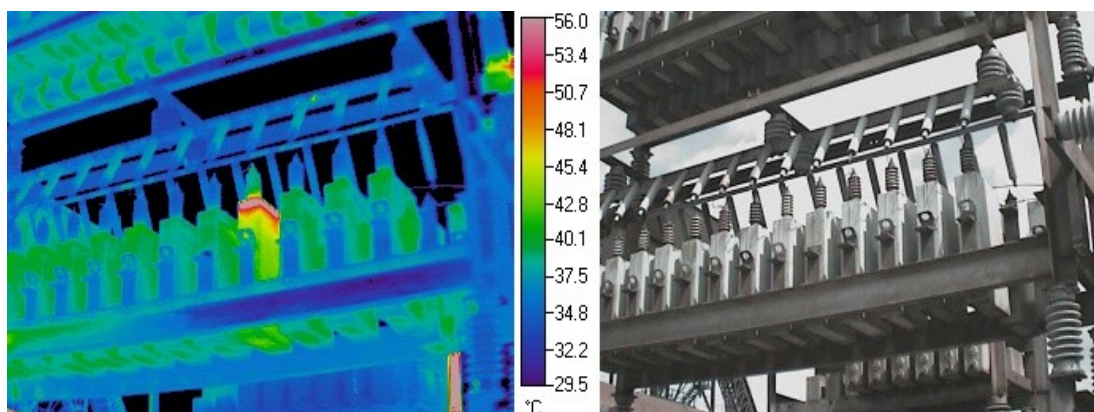
Termovizní měření umožňuje viditelnou informaci o rozložení teploty na povrchu snímaného zařízení. Touto bezkontaktní metodou lze měření provádět za provozu a bez poškození měřeného objektu. Termovizní systémy se využívají ke zjišťování a sledování spolehlivosti strojů a zařízení v mnoha odvětvích, např. slévárenství, automobilový průmysl, metalurgii, sledování skladů materiálu s vysokým rizikem vzniku požáru.



Obr. 14 běžná provozní teplota zařízení [1]

6.3 Energetika

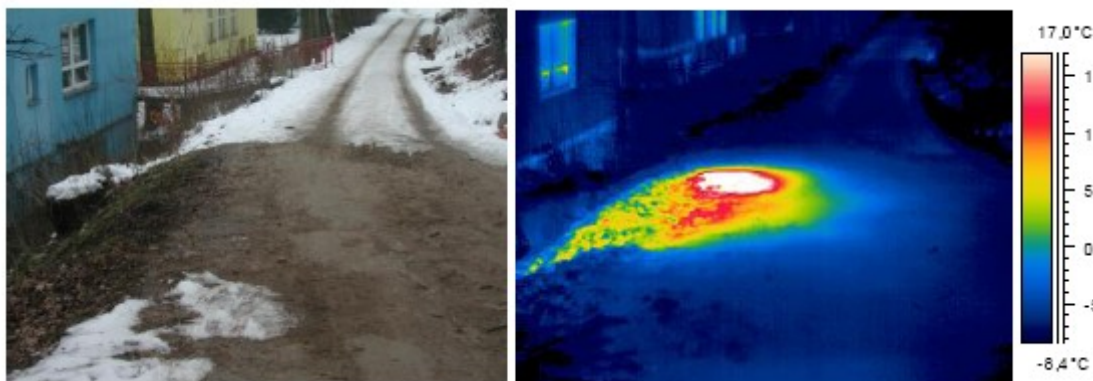
Termovize napomáhá při kontrole a revizi elektrických rozvodů. Předností této metody je, že kontrola objektů probíhá během normálního provozu. Pravidelným měřením je možné zachytit závady již v počátku a tak můžeme rozhodovat o jejich závažnosti a vlivu na chod zařízení. Toto pravidelné měření a monitorování energetických zařízení nemá jenom bezpečnostní význam, ale i zásadní ekonomický efekt. Pomocí termogramů odhalíme potenciální místo poruchy a tím můžeme předejít výpadkům v dodávce energie (dopad na řadu odběratelů), přehřátí zařízení, škod na zařízení.



Obr. 15 Přehřívající se jedna z pojistek [1]

6.4 Teplovodní systémy

Pomocí termovizní techniky můžeme vyhledávat poruchy podzemního vedení, kontrolovat stav nadzemní sítě a zjišťovat jejich stav izolace. Při dopravě látek u těchto rozvodů dochází k poměrně vysokým ztrátám, způsobených nedostatečnou izolací, poškozením nebo přímo děravým potrubím. Diagnostikou těchto systémů můžeme předejít vážným poruchám a k lepšímu naplánování případných oprav.



Obr. 16 Prasklé teplovodní potrubí [1]

6.4.1 Teplovodní potrubí

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [5]

- **úvod**

Je zařízení sloužící k vedení, přepravě nebo dopravě tekutin. Potrubní zařízení využívají některé průmyslové a energetické závody. Potrubí bývá vždy nepropustné, většinou mívá technické prostředky, které umožňují regulaci toku hmoty v potrubí. Uložené bývá tak, aby bylo ochráněno před vnějším mechanickým poškozením a před možnou korozí u kovového potrubí. U teplovodního potrubí používáme ještě izolaci, která ho chrání před nežádoucí ztrátou přenášeného tepla do okolí.



Obr. 17 Teplovodní potrubí [2]

- **rozdělení:**

Potrubní zařízení můžeme dělit z různých hledisek:

a) podle průmyslu, kde jsou realizovány

- hutnictví, hornictví, energetika, chemie, potravinářský průmysl

b) podle použitého materiálu

- ocel, litina, měď, olovo, plastické materiály, keramické materiály, skleněné materiály

c) podle pracovního tlaku

- nízkotlaké, středotlaké, vysokotlaké

d) podle pracovní teploty

e) podle agresivních materiálů

- uvnitř potrubí, vně potrubí

- **základní veličiny, které určují potrubí**

Jmenovitá světlost (DN) – se určí pro vypočtený průměr potrubí podle normalizované řady (ČSN 130015)

Jmenovitý tlak (PN) – je stanoven podle nejvyššího pracovního přetlaku v určitém pracovním stupni dle (ČSN 130010)

- **části potrubí**

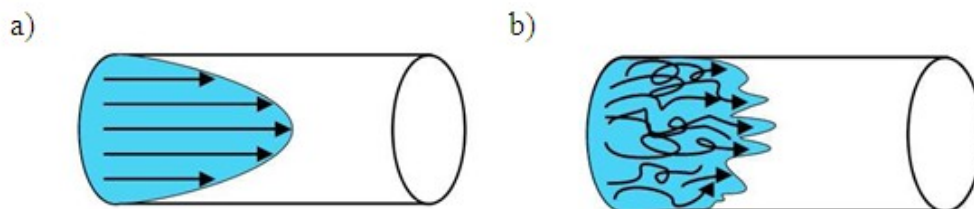
- trubky, tvarovky, spoje trubek, kompenzátory, armatury (ventily, šoupátka, kohouty), uložení a upevnění potrubí

- **proudění tekutin potrubím**

Proudění je pohyb tekutiny, kdy se částice tekutiny neuspořádaně pohybují a zároveň se posouvají ve směru proudění. Tekutina se vždy pohybuje z místa vyššího tlaku do místa s nižším tlakem. Proudění můžeme znázornit pomocí několika čar – proudnic (myšlené čáry, jejíž tečny v libovolných bodech ukazují směr rychlosti pohybující se částice).

Druhy proudění:

- laminární (objevuje se při menších rychlostech proudění a částice kapaliny se pohybují vedle sebe jakoby ve vrstvách, nepřemísťují se po průřezu)
- turbulentní (objevuje se při větších rychlostech proudění a částice tvoří víry, přemísťují se po průřezu)



Obr. 18 Druhy proudění: a) laminární, b) turbulentní [2]

Přechod laminárního proudění v turbulentní je určen Reynoldsovým číslem ($Re = 2320$).

To je definováno vztahem: $Re = \frac{vd}{\nu}$ (7)

kde: v střední rychlost tekutiny

d průměr potrubí

ν kinematická viskozita

• tlakové ztráty v litinovém a ocelovém potrubí

Pro výpočet tlakových ztrát při průtoku vody v litinovém a ocelovém potrubí nejlépe vyhovuje Manningova rovnice:

$$i = 10,293 \cdot n^2 \cdot D^{-16/3} \cdot Q_v^2 = A \cdot Q_v^2 \quad [\text{m}] \quad (8)$$

i = tlaková ztráta (m)

n = součinitel drsnosti $n = 0,012$

D = světlost potrubí (m)

Q_v = průtočné množství ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

6.5 Další využití

- **medicína**

pomocí termovize můžeme diagnostikovat různé záněty, poruchy prokrvení, zhoubná nádorová onemocnění. Využití v medicíně je široké, ale až na výjimky se tato metoda musí kombinovat s dalšími.

- **ekologie (životní prostředí)**

zjišťujeme příčiny akumulace tepelné energie ve vybraných lokalitách (sklárky, vodní nádrže).

- **výzkum a vývoj**

termodiagnostiku aplikujeme na kontrolu výrobních a technických procesů (zkoušení a vývoj materiálů)

7 TERMIVIZNÍ MĚŘENÍ TEPLOVODNÍHO POTRUBÍ

Účastnil jsem se termovizního měření teplovodního vedení, které se provádělo z důvodu preventivní prohlídky pro firmu Dalkia Industry a.s. Měření probíhalo na dlouhém úseku potrubí a částečně nepřístupném terénu, proto byla využita tato metoda měření. Z důvodu větší délky potrubí bylo měření rozděleno do více dnů po určitých úsecích. Při měření jsem asistoval zkušenému termodiagnostikovi panu Markovi Miklošovi a za pomoci termokamery jsme kontrolovali celé potrubí, ale zaznamenány byly jen vadné části potrubí.



Obr. 19 Měřené teplovodní potrubí

7.1 Popis sledovaného celku

Měřeným celkem bylo v nadzemní části vedené teplovodní potrubí z dolu ČSM Sever a ČSM Jih –Darkov. Trasa byla měřená v délce od hranice dolu ČSM Sever až k hranicím Dolu Darkov a dále ČSM Sever až ČSM Jih (tedy přibližná délka 10 km).

Potrubní zařízení je složeno z trubek, jejichž rozměry a charakteristické znaky jsou normalizovány dle ČSN. Spoje těchto trubek jsou nerozebíratelné, tedy svařené a tím je zvýšena bezpečnost a snížena poruchovost. Chráněno je izolační hmotou pod pevným izolačním pláštěm (plechem). Slouží k zásobování teplé vody pro důl Darkov

Parametry teplovodního vedení:

- měřená délka	10000 m
- průměr	250 mm
- přepravovaná látka	voda

7.2 Měřicí zařízení

- teplotní zobrazovač Fluke Ti20
- digitální fotoaparát
- software InsideIR (pomocí kterého jsou termogramy vyhodnocovány v PC)

Tab. 3. Technické parametry teplotního zobrazovače FLUKE Ti20

Teplotní	
Teplotní rozsah	-10 až 350 °C (14 až 662 °F)
Typ detektoru	Nechlazený mikrobolometrický detektor (FPA) 80x60 bodů
Přesnost	±2% nebo ±2 °C, vždy větší hodnota
Opakovatelnost	±1% nebo ±1 °C, vždy větší hodnota
NETD (Teplotní citlivost)	200 mK
Rozlišení displeje	0,1 °C)
Optické	
Zorné pole (FOV)	Obdélníkové, 20° horizontálně x 15° vertikálně
Minimální průměr	8,1 mm ve vzdálenosti 61 cm
Optické rozlišení (D:S)	75 : 1, nebo lepší
Spektrální charakteristika	7-14 μm
Zaměřování měřeného objektu	Laser (IEC 825/93 Class II, FDA LFR 1040.10 Class II)
Rozlišení šířky záběru (IFOV)	4.4 mrad
Ovládání	
Zaostření	Nastavitelně od 61 cm / 24" do nekonečna
Teplotní stupnice	Volitelně °C nebo °F
Škála zobrazení	Volitelně šedá, duhová, kovová nebo inverzní šedá
Režimy měření	Volitelně automatický nebo ruční
Podsvícení LCD displeje	Volitelně jasný nebo tlumený
Provozní	
Nastavení emisivity	0,10 až 1,00 v krocích po 0,01
LCD displej	70,5 x 53,5 mm
Kompenzace teploty pozadí	-50 až 460 °C (-58 až 860 °F)
Okolní provozní teplota	-10 až 50 °C (14 až 122 °F)
Relativní vlhkost	10 až 90 % nekondenzující
Skladovací teplota	-25 až 70 °C (-13 až 158 °F)
Kapacita vnitřní paměti	50 termogramů

7.3 Průběh měření a zadávací parametry

Měření probíhalo v zimě při teplotě pod nulou, což je pro termodiagnostiku vhodné období, protože v našem případě byly rozdíly teplot mezi měřeným objektem a okolím největší. Na horní části potrubí byla místy vrstva sněhu, ale v době měření nesněžilo a tak by měření nemělo být ničím ovlivněno. Potrubní systém byl celý postupně snímán termokamerou a při zjištění závady se místo vyfotilo jak termokamerou (termovizní snímek), tak fotoaparátem (fotografie). Pro lepší nalezení závady byla tato místa označena zeleným křížkem přímo na potrubí, a pokud nebylo možno toto místo označit z důvodu nepřístupnosti terénu, lze jej bezpečně poznat z fotky, kde je vyznačeno červeným ohrazením.

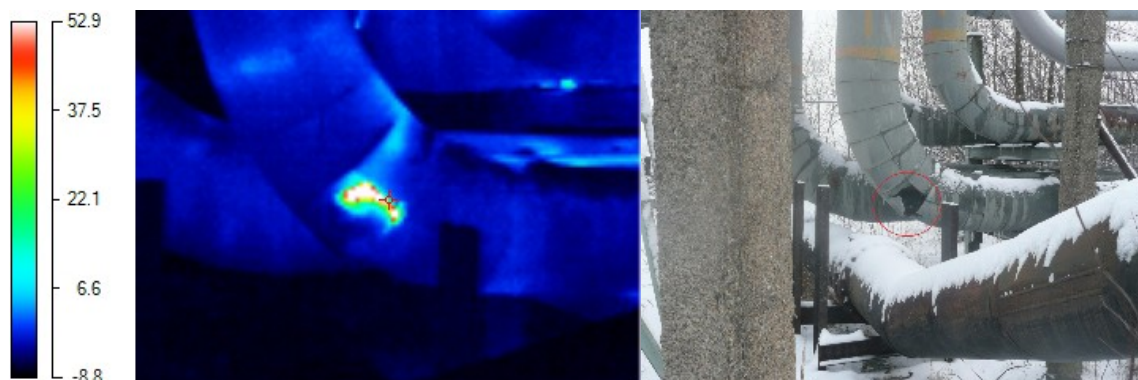
Tab. 4. Parametry při měření

Okolní podmínky	
teplota	-7 až -12 °C
Nastavení kamery	
emisivita	0,95
odražená teplota	30°C

7.4 Zpracování a vyhodnocení měření

Zpracování naměřených hodnot probíhalo ve firmě Esos Ostrava, s.r.o. kde jsme s panem Miklošem zaznamenaná data z měřících zařízení přetáhli do počítače. Pomocí software InsideIR jsme naměřené termografické snímky vyhodnotili. Tyto termografické snímky s jasně viditelnou závadou společně s jejich reálnou fotografií, kde je tato závada červeně ohrazena, jsem rozdělil do jednotlivých tabulek, které jsou doplněny o připomínky a doporučení k daným závadám na zařízení. Výsledná zpráva vypracovaná firmou Esos je umístěna v příloze této bakalářské práce.

Termografická fotografie 1



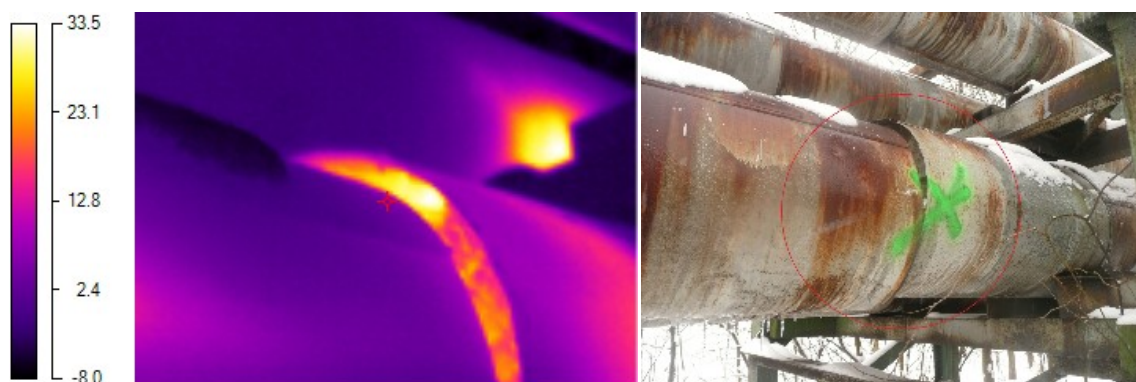
Teplota cíle	14,8 °C
Popis problému	Porušený pevný izolační plášť a poškození izolační hmoty.
Doporučení	Oprava izolace v místě porušení.

Termografická fotografie 2



Teplota cíle	-4,8 °C
Popis problému	Poškození izolace v místě nevhodného ukotvení.
Doporučení	Oprava izolace v místě porušení a změna ukotvení.

Termografická fotografie 3



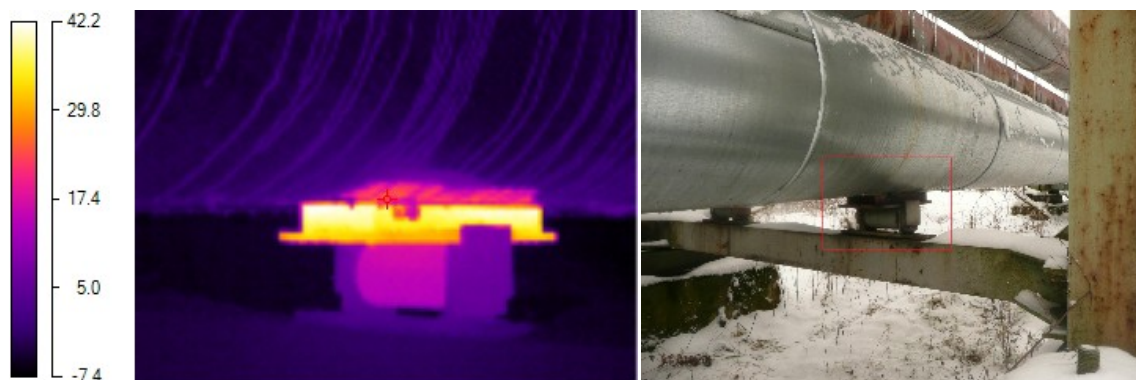
Teplota cíle	4,8 °C
Popis problému	Posun celé izolace a její poškození.
Doporučení	Oprava izolace v místě porušení.

Termografická fotografie 4



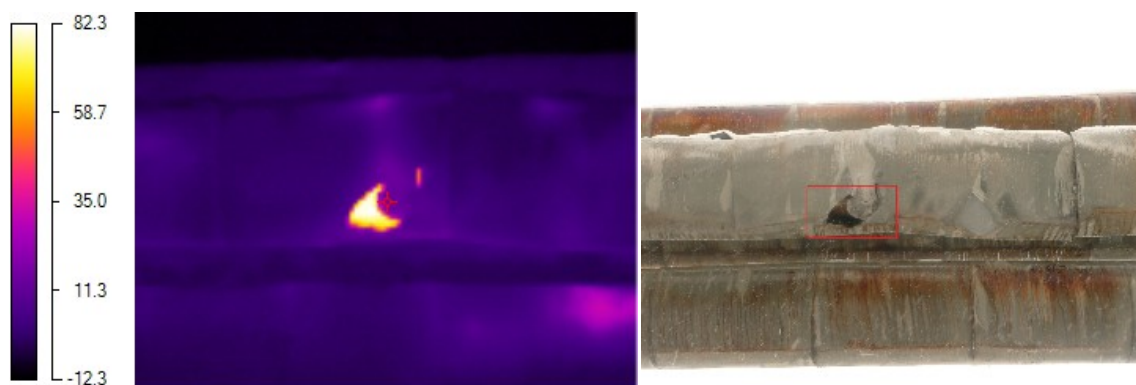
Teplota cíle	111,8 °C
Popis problému	Velké poškození povrchového pláště a izolační hmoty. Poškození je tak rozsáhlé, že vznikají velké tepelné ztráty energie a může dojít k poranění neznalých osob.
Doporučení	Okamžitá oprava izolace a jejího pláště.

Termografická fotografie 5



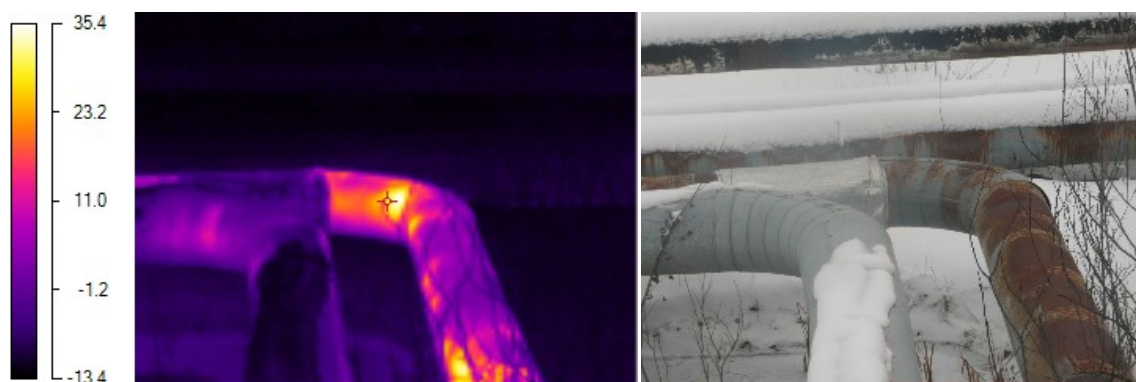
Teplota cíle	23,5 °C
Popis problému	Nedostatečné řešení izolace v místě uložení potrubí.
Doporučení	Řešení uložení izolace v místech ukotvení po celé trase potrubí.

Termografická fotografie 6



Teplota cíle	15,2 °C
Popis problému	Poškození pevného izolačního pláště.
Doporučení	Oprava pevného izolačního pláště.

Termografická fotografie 7



Teplota cíle	28,6 °C
Popis problému	V celé této části neúčinná izolace pod pevným pláštěm, zřejmě z důvodu delšího zaplavení vodou.
Doporučení	Oprava izolace a pláště.

Termografická fotografie 8



Teplota cíle	29,1 °C
Popis problému	Zničení pevného pláště a izolace, zřejmě z důvodu zavinění cizí osobou.
Doporučení	Oprava izolace a pláště.

Termografická fotografie 9



Teplota cíle	8 °C
Popis problému	Zcela chybí pevný plášť zřejmě z důvodu poškození cizí osobou.
Doporučení	Oprava izolace a obnovení pláště.

Termografická fotografie 10



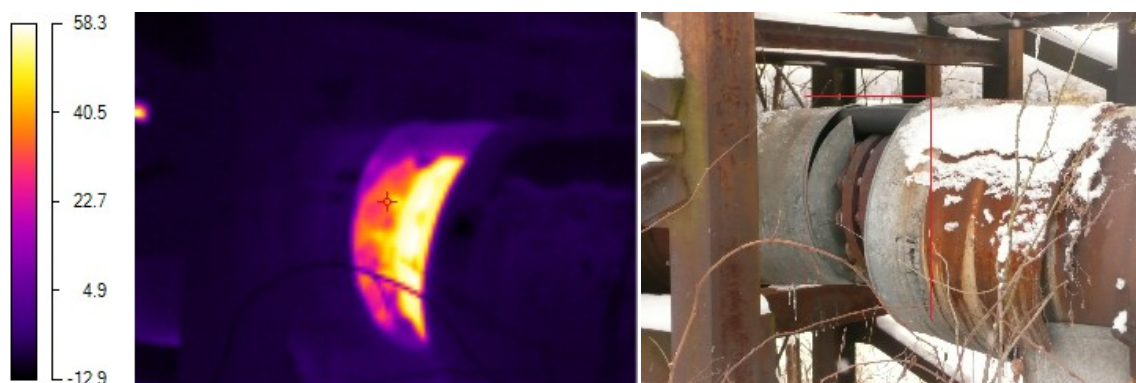
Teplota cíle	80,6 °C
Popis problému	Nevyhovující řešení izolace kolem ventilu.
Doporučení	Nahradit ventil novým, nebo vyřešit problém s izolací.

Termografická fotografie 11



Teplota cíle	8 °C
Popis problému	Špatné izolování části ventilu.
Doporučení	Oprava izolace.

Termografická fotografie 12



Teplota cíle	36,5 °C
Popis problému	Nevyhovující provedení spoje potrubí.
Doporučení	Zajistit izolaci spoje.

7.5 Doporučení

Vzhledem k tomu, že potrubí není zcela bez závad, jak lze vidět z fotografií, doporučil bych provést opravu potrubí ve vyznačených místech a výměnu izolace kde je nezbytně nutná v co nejkratším termínu vzhledem k efektivnosti a hospodárnosti daného systému. Na některých obnažených místech potrubí dosahuje teplota až 100°C a proto je z důvodu bezpečnosti osob nezbytně nutné provést výměnu poškozené izolace a opatřit ji pevným pláštěm. Zaměřil bych se také na úseky, které bývají ohroženy stojatou vodou, kde izolace ztrácí svoji účinnost. Vhodné by bylo na pevný plechový plášť použít plastové části, které by bránily poškození povětrnostními vlivy a možnému odcizení. Dále doporučuji prořezání dřevin v prostoru kolem potrubí z důvodu lepšího přístupu a údržby. K udržení provozuschopného a bezpečného stavu doporučuji nasadit preventivní údržbu, která pravidelným sledováním tohoto zařízení včas odhalí vznikající poruchy a tím můžeme lépe plánovat případné odstávky a opravy.

8 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo seznámení se způsoby měření teploty. Porovnáváním nejčastěji používaných způsobů měření teploty a to jak z hlediska přesnosti a principu měření, tak měřicího rozsahu teploty. Především však s širokým využitím termodiagnostiky v praxi.

První část práce obsahuje jen krátce historii měření teploty, pokračuje její definicí a základním rozdělením na kontaktní a bezkontaktní měření teploty. Jsou zde popsány 3 základní druhy šíření tepla.

Další část je zaměřená na teorii a princip termografie. Základní rozdělení měřicí techniky a metod termografie. Seznámení s termodiagnostikou, která se dnes uplatňuje v řadě průmyslových odvětví.

Poslední praktická část popisuje termovizní měření teplovodního potrubí. Úkolem bylo snímat potrubí v celé jeho měřené délce pomocí termokamery a zaznamenávat jen závady a poškozená místa. Tyto místa byla vyznačena přímo na potrubí i na fotografiích z důvodu lepšího nalezení.

Na vedení byly zjištěny vážné závady a nedostatky způsobující problémy se spolehlivostí a hospodárností provozovaného zařízení. Dále jsou na vedení teplovodu porušená místa a obnažené části potrubí s vysokou teplotou a tím hrozí nebezpečí poranění cizí osoby. Pevný izolační plášť je poškozen povětrnostními vlivy, cizí osobou, ale také stářím materiálu. Vnitřní izolační hmota je v některých částech potrubí neúčinná, ale tato vada je zjištělná pouze termovizní technikou.

Zhodnocením celého měření je zřejmé, že teplovodní vedení společnosti Dalkia Industry a.s má vážné nedostatky. Nyní záleží na této společnosti, jestli si vezme tyto rady a doporučení k srdci a opraví tyto vadné části potrubí nebo se spokojí se stavem, který je nyní.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval firmě ESOS Ostrava, s.r.o. a panu Markovi Miklošovi za spolupráci při praktickém měření a spoustu cenných informací. Dále děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Ladislavu Hrabcovi, Ph.D. za ochotu a odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce.

V Ostravě: 18.5.2011



.....
podpis autora

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HELEBRANT, F., MONI, V., BLATA, J. *Termografie*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava, 2010. 69s.
- [2] Firemní podklady společnosti ESOS Ostrava, s.r.o.
- [3] KREIDL, M., ŠMÍD, R. *Technická diagnostika*. 1. vydání, Praha : BEN – Technická literatura, 2006. 408 s. ISBN 80-7300-157-6.
- [4] LYSENKO, V. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. 1.vydání, Praha : BEN - Technická literatura, 2005. 153 s. ISBN 80-7300-180-2.
- [5] HRADIL, F. *Potrubní systémy*. 1.vydání, Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava, 1994. 159 s. ISBN 80-7078-253-6.
- [6] *Teorie měření teploty a tepla* [online]. 2008 [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <http://www.termokamera.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=3&Itemid=9>.
- [7] KADLEC, Z. *Termomechanika – návody do cvičení*. 2. Vydání, Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008. 100 s. ISBN 978-80-248-1736-1.
- [8] *Dotykové teploměry* [online]. 2002 [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.e-pristroje.cz/teplomery-dotykove.html>>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Termovizní měření teplovodního vedení - vypracované firmou Esos
(počet stran: 16)

Příloha A: Termovizní měření teplovodního vedení - vypracované firmou Esos



ESOS Ostrava, s.r.o., Výstavní 51/3224, 702 00 Ostrava – Morav. Ostrava
Tel.: 596 624 831+33 Fax: 596 622 738 E-mail: esos@esosostrava.cz <http://www.esosost.cz>



Technická diagnostika Termovizní měření Teplovodního vedení.

Zákazník:
Dalkia Industry a.s

Měřil: Marek Mikloš
Josef Knapp
Petr Havrila

Zpracoval: Marek Mikloš

Schválil: Ing. Petr Lysák.

Datum měření: 27.-31.12.2010

Tento dokument obsahuje informace a údaje, které jsou výlučným vlastnictvím ESOS Ostrava, s.r.o.. Je určen pouze pro interní potřebu a pro účely výslovně v dokumentu uvedené. Použití tohoto dokumentu ani žádné jeho části pro jiné účely, jakož i reprodukování, rozmnožování, kopírování nebo předání třetí osobě je výslovně zakázáno bez předchozího písemného souhlasu ESOS Ostrava, s.r.o..

Tento dokument obsahuje informace a údaje, které jsou výlučným vlastnictvím ESOS Ostrava, s.r.o.. Je určen pouze pro interní potřebu a pro účely výslovně v dokumentu uvedené. Použití tohoto dokumentu ani žádné jeho části pro jiné účely, jakož i reprodukování, rozmnožování, kopírování nebo předání třetí osobě je výslovně zakázáno bez předchozího písemného souhlasu ESOS Ostrava, s.r.o..

IČO: 25868781

DIČ: CZ25868781

Bankovní spojení: GE Money bank Ostrava

Č.ú.: 160387283/0600

Efektivní Starost O vaše Stroje

ÚVOD

Termovizní měření je bezkontaktní měření teploty. Využívá, pro nás neviditelného infračerveného záření, pro bezpečné měření povrchových teplot předmětů. Rozložení a průběh teploty se zobrazuje a zaznamenává prostřednictvím termovizní kamery (teplotního zobrazovače) a dalšího příslušenství. Rozborem teplotního pole je pak možné posoudit stav zařízení.

Bezkontaktní teploměry zachycují neviditelnou infračervenou energii, kterou přirozeně emitují všechny předměty. Infračervené záření je součástí elektromagnetického spektra, které zahrnuje radiové vlny, mikrovlny, viditelné světlo, ultrafialové a gama záření, rentgenové paprsky.

Infračervená energie spadá mezi viditelné světlo spektra a radiové vlny. Vlnová délka infračervených paprsků se obvykle vyjadřuje v μm . Infračervené spektrum je v rozsahu od 0,7 μm do 1000 μm . Pro bezkontaktní měření se prakticky využívá pásmo 0,7 až 14 μm .

MĚŘENÍ

Měřené zařízení

Bylo provedeno ukázkové měření teplovodního potrubí. Hlavním kritériem pro rozhodnutí zda jde o špatnou izolaci nebo porušení izolace, není pouze absolutní teplota, ale zejména teplotní rozdíl vůči ostatním spojům a venkovní teplotě, eventuálně jeho rostoucí trend. Měřením, postupným sledováním a porovnáváním s archivovanými hodnotami lze rozhodnout o kvalitě sledovaného místa potrubí.

stupeň kvalifikace

- I. stupeň* *oteplení izolace oproti okolní teplotě $> 10^{\circ}\text{C}$ a zároveň $< 35^{\circ}\text{C}$*
- II. stupeň* *oteplení izolace oproti okolní teplotě $> 35^{\circ}\text{C}$ a zároveň $< 100^{\circ}\text{C}$*
- III. stupeň* *oteplení izolace oproti okolní teplotě $> 100^{\circ}\text{C}$*

opatření

- I. stupeň* *opravit při plánované odstávce, max. do tří měsíců*
- II. stupeň* *opravit do jednoho měsíce*
- III. stupeň* *opravit okamžitě*

Použité přístrojové vybavení

Měření bylo provedeno pomocí teplotního zobrazovače Fluke Ti20 v.č. - 93720045. Za provozu parovodu při venkovní teplotě -7-10 °C, teplota potrubí 100-110 °C. Použitím tohoto zobrazovače můžeme získat bezprostřední a přesné termogramy a současně měřit teplotu vzdálených cílů. Zobrazovač je navržen ergonomicky pro měření pravou i levou rukou a pořizuje termogramy a data jednoduše stisknutím spouště. Zobrazovač může uložit až 50 termogramů, které jsou poté uloženy do PC. Termogramy jsou vyhodnocovány v PC pomocí software InsideIR.

Technické parametry teplotního zobrazovače FLUKE Ti20

Teplotní

Teplotní rozsah	-10 až 350°C (14 až 662°F)
Typ detektoru	Nechlazený mikrobolometrický detektor (FPA) 80 x 60 bodů
Přesnost	±2% nebo ±2°C, vždy větší hodnota
Opakovatelnost	±1% nebo ±1°C, vždy větší hodnota
NETD (Teplotní citlivost)	200 mK
Rozlišení displeje	0,1 °C)

Optické

Zorné pole (FOV)	Obdélníkové, 20° horizontálně x 15° vertikálně
Minimální průměr	8,1 mm ve vzdálenosti 61 cm
Optické rozlišení (D:S)	75 : 1, nebo lepší
Spektrální charakteristika	7-14 μm
Zaměřování měřeného objektu	Laser (IEC 825/93 Class II, FDA LFR 1040.10 Class II)
Rozlišení šířky záběru (IFOV)	4.4 mrad

Ovládání

Zaostření	Nastavitelně od 61 cm / 24" do nekonečna
Teplotní stupnice	Volitelně °C nebo °F
Škála zobrazení	Volitelně šedá, duhová, kovová nebo inverzní šedá
Režimy měření	Volitelně automatický nebo ruční
Podsvícení LCD displeje	Volitelně jasný nebo tlumený

Provozní

Nastavení emisivity	0,10 až 1,00 v krocích po 0,01
LCD displej	70,5 x 53,5 mm
Kompenzace teploty pozadí	-50 až 460 °C (-58 až 860 °F)
Okolní provozní teplota	-10 až 50 °C (14 až 122 °F)
Relativní vlhkost	10 až 90 % nekondenzující
Skladovací teplota	-25 až 70 °C (-13 až 158 °F)
Kapacita vnitřní paměti	50 termogramů

Měření teplovodního potrubí z dolu ČSM Sever a ČSM Jih.ČSM Sever – Darkov

Trasa byla měřená v délce od hranice dolu ČSM Sever až k hranicím Dolu Darkov a PZ.

Dále ČSM Sever až ČSM Jih.

Závadná místa a poškození byly zaznamenány termokamerou a fotoaparátem, a označeny značkovací barvou zelené barvy.

Jsou zdokumentovány a přiloženy ke správě o měření jakožto i protokoly s výsledky.

ZÁVĚR

Na vedení jsem zjistil vážné závady a nedostatky a s tím spojené problémy se spolehlivostí a hospodárností provozovaného zařízení.

Taktéž jsou na vedení teplovodu porušena místa a obnažené potrubí s vysokou teplotou a nebezpečím poranění neznalé osoby.

Izolace je poškozena povětrnostními podmínkami, ale také lidskou silou, cizí osobou a také stářím materiálu vnitřní izolace, kde dochází k nedostatečné izolaci vedení, které není vizuálně zjistitelné, pouze mechanicky nebo termovizní technikou.

DOPORUČENÍ

Doporučuji provést opravu potrubí v exponovaných místech a výměnu izolace v co nejkratším termínu vzhledem k efektivnosti a hospodárnosti systému a hlavně z důvodu bezpečnosti osob je nezbytně nutné provést výměnu izolace v místech ohrožených stojatou vodou, také provést řádné prořezání a prokleštění porostu a dřevin z důvodu efektivnější údržby.

Doporučil bych na plášť izolace použít plastové části vzhledem k možnosti ztížení odcizení a poškození povětrnostními podmínkami plechových plášťů.

DODATEK 12 LISTŮ

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Porušeny pevný plášť izolace a poškození izolační hmoty.
V místě oplocení dolu ČSM.

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace dle rozsahu a doporučení výrobce a technologického postupu

Repair Priority Low

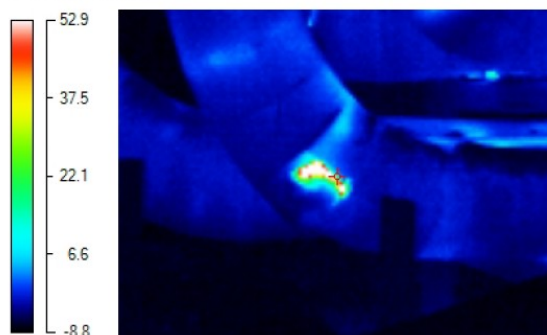
Next Inspection

IDENTIFICATION

Location Name
Teplovodní potrubí

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM

REFERENCE IMAGE

TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/28/2010 4:33:29 AM
Target Temperature 14.8 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200
Equipment Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Porušeny pevný plášť izolace a poškození izolační hmoty. Nedostačné řešení izolace v místě ukotvení.
V místě oplocení dolu ČSM.

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace dle rozsahu a doporučení výrobce a technologického postupu.

Repair Priority Low

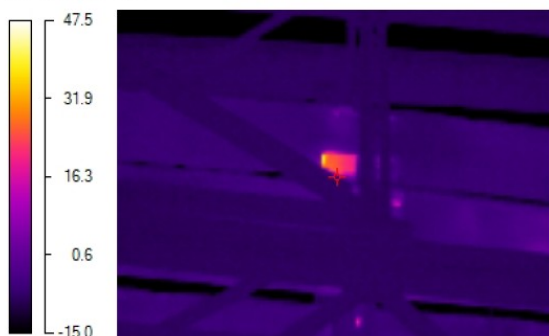
Next Inspection

IDENTIFICATION

Location Name
Teplovodní potrubí

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM

REFERENCE IMAGE

TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/28/2010 4:34:10 AM
Target Temperature -4.8 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Porušeny pevný plášť izolace a poškození izolační hmoty.

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace dle rozsahu a doporučení výrobce a technologického postupu.

Repair Priority Low

Next Inspection

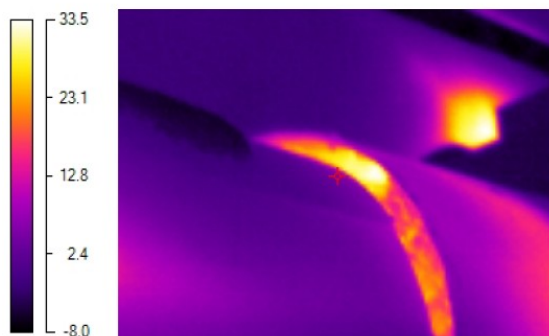
IDENTIFICATION

Location Name
Location 10

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM



REFERENCE IMAGE



TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/28/2010 4:58:31 AM
Target Temperature 4.8 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Porušeny pevný plášť izolace a poškození izolační hmoty. Poškození je velmi rozsáhlé velké straty tepelné energie a nebezpečí poranění neznalé osoby ,teplota v místě poškození dosahuje 110 °C

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace dle rozsahu a doporučení výrobce a technologického postupu.

Repair Priority Low

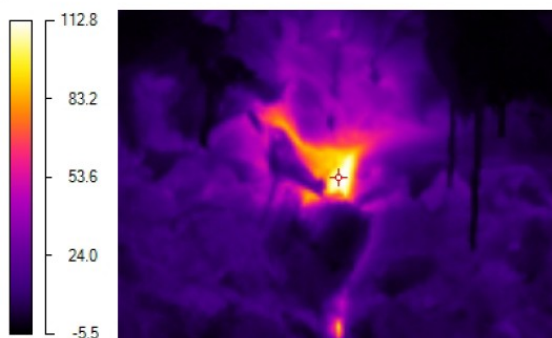
Next Inspection

IDENTIFICATION

Location Name
Location 17

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM

REFERENCE IMAGE

TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/28/2010 5:30:15 AM
Target Temperature 111.8 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Nedostatečné řešení izolace uložení a ukotvení teplovodního potrubí.

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji řešit izolaci uložení a ukotvení vzhledem k počtu bodů na trase teplovodního potrubí.

Repair Priority Low

Next Inspection

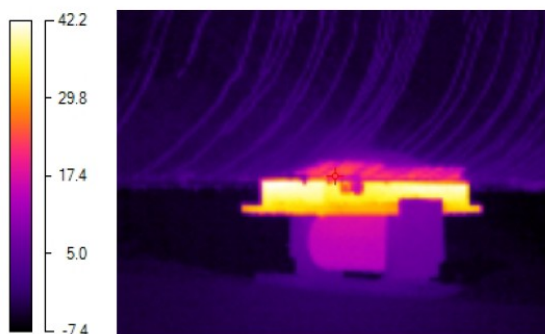
IDENTIFICATION

Location Name
Location 22

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM



REFERENCE IMAGE



TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/28/2010 5:45:16 AM
Target Temperature 23.5 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Poškození izolace

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace a pláště.

Repair Priority Low

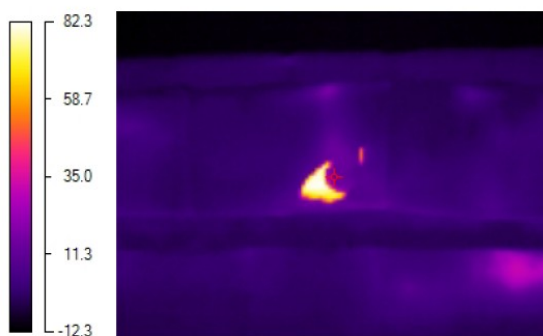
Next Inspection

IDENTIFICATION

Location Name
Location 27

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM

REFERENCE IMAGE

TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/28/2010 6:11:34 AM
Target Temperature 15.2 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Poškození izolace pod pevným pláštěm zřejmě z důvodu delšího zaplavení vodou. V cele délce neúčinná izolace.

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace a pláště.

Repair Priority Low

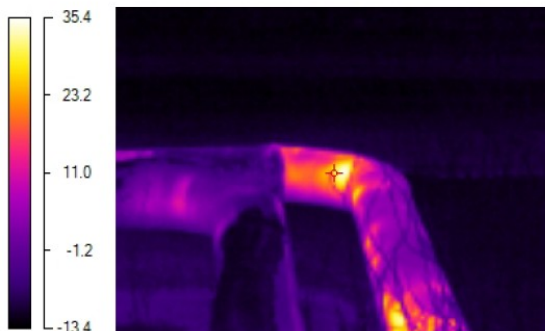
Next Inspection

IDENTIFICATION

Location Name
Location 31

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM

REFERENCE IMAGE

TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/29/2010 4:30:51 AM
Target Temperature 28.6 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Poškození izolace a pevného pláště zřejmě z důvodu poškození cizí osobou .

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace a pláště.

Repair Priority Low

Next Inspection

IDENTIFICATION

Location Name
Location 36

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM



REFERENCE IMAGE



TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/29/2010 4:47:22 AM
Target Temperature 29.1 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Poškození izolace a pevného pláště zřejmě z důvodu poškození cizí osobou .

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace a pláště.

Repair Priority Low

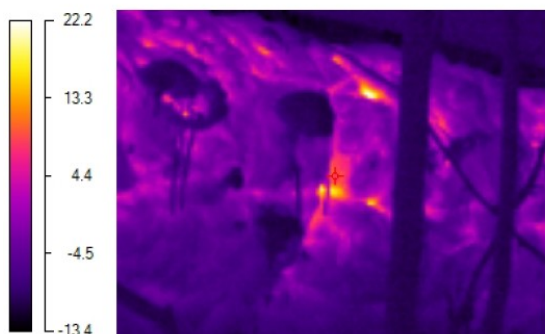
Next Inspection

IDENTIFICATION

Location Name
Location 40

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM

REFERENCE IMAGE

TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/29/2010 5:15:33 AM
Target Temperature 8.0 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Nedostatečné řešení izolace ventilu.

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace a pláště.

Repair Priority Low

Next Inspection

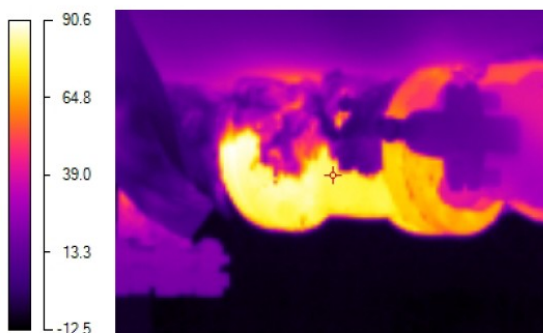
IDENTIFICATION

Location Name
Location 43

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM



REFERENCE IMAGE



TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/29/2010 5:20:50 AM
Target Temperature 80.6 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Nedostatečné řešení izolace ventilu.

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace a pláště.

Repair Priority Low

Next Inspection

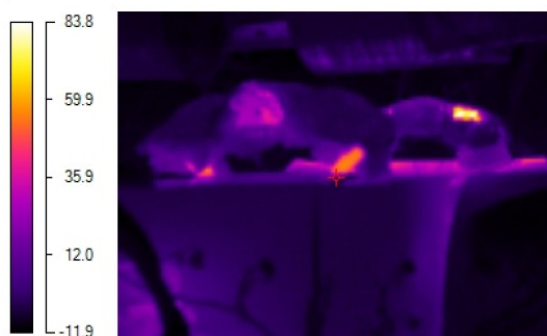
IDENTIFICATION

Location Name
Location 45

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM



REFERENCE IMAGE



TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/29/2010 5:21:49 AM
Target Temperature 8.0 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance

COMPANY

Name Esos Ostrava
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

INSPECTOR

Name Marek Mikloš
Address Vystavní 51
Ostrava 70200

Equipment
Termokamera
Fluke Ti 20

PROBLEM DESCRIPTION

Nedostatečné řešení izolace spoje.

RECOMMENDED ACTION

Doporučuji opravu izolace a pláště.

Repair Priority Low

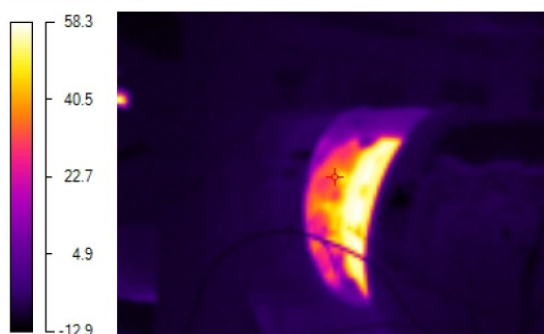
Next Inspection

IDENTIFICATION

Location Name
Location 42

Nameplate #

Equipment Type

THERMOGRAM

REFERENCE IMAGE

TEMPERATURE MEASUREMENTS

Image Date 12/29/2010 5:20:03 AM
Target Temperature 36.5 °C
Emissivity 0.95
Reflected Temp 30 °C
Distance